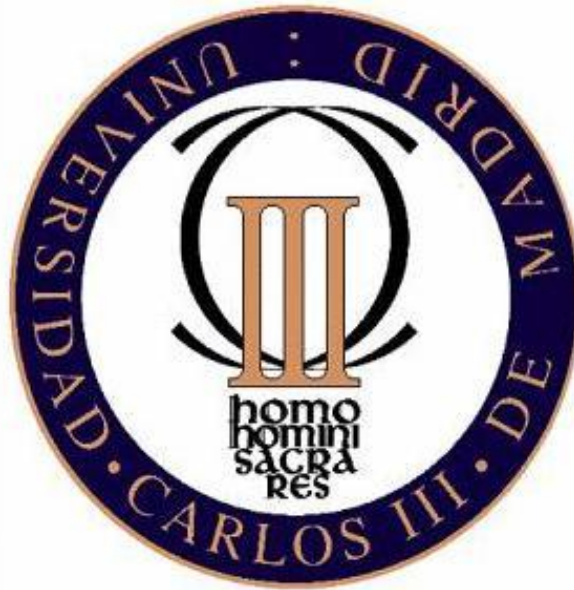


UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID



ESTUDIO DE DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS POR CERÁMICOS, ACERO Y HORMIGÓN.

Professor/Tutor Dr. Marcin Górski

Student Alexandra Antoranz Tártalo

INDICE

1 – INTRODUCCIÓN	4
1.1 – Objetivo	4
2 – MATERIALES	4
2.1 – Cerámicos	4
2.1.1 – Propiedades mecánicas de los materiales Cerámicos	4
2.2 – Acero	6
2.2.1 – Propiedades Mecánicas del Acero	6
2.3 – Hormigón	8
2.3.1 – Propiedades Mecánicas del Hormigón	8
3 – ESTRUCTURAS	10
3.1 – Viga en Voladizo	10
3.1.1 – Diseño de la viga	10
3.1.2 – Carga Puntual al final de la viga en voladizo	11
3.1.2.1 – Cerámico	12
3.1.2.2 – Acero	12
3.1.2.3 – Hormigón	13
3.1.3 – Carga continua en viga en voladizo	13
3.1.2.1 – Cerámico	14
3.1.2.2 – Acero	14
3.1.2.3 – Hormigón	15
3.2 – Viga Biapoyada	15
3.2.1 – Carga puntual en el medio de la viga	16
3.2.1.1 – Cerámico	17
3.2.1.2 – Acero	17
3.2.1.3 – Hormigón	18

3.2.2 – Carga continua en la viga	18
3.2.2.1 – Cerámico	19
3.2.2.2 – Acero	20
3.1.2.3 – Hormigón	20
4 – CONCLUSIONES	21
5 – BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	22
5.1 – Libros y Documentos	22
5.2 – Referencias y páginas webs	22

1 - INTRODUCCIÓN

1.1 - OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento de diferentes tipos de estructuras, en concreto viga en voladizo y viga con biapoyada, construidas por diferentes materiales. Los materiales que vamos a estudiar son: cerámicos, acero y hormigón.

Estudiaremos el comportamiento que tienen las diferentes estructuras aplicándoles distintas cargas y observaremos que material es el más conveniente a utilizar en cada estructura.

2 - MATERIALES

2.1 - CERAMICOS

Los materiales cerámicos están divididos en tres grupos: amorfos, tradicionales y avanzados. Pueden tener distintos tipos de estructuras: cristalina, amorfa o mixta. La estructura de un material cerámico puede tener distintos tipos de enlace: enlace iónico, enlace covalente o enlace metálico. Las propiedades de los materiales cerámicos dependen principalmente del tipo de estructura que tengan.

2.1.1 – Propiedades Mecánicas de los Materiales Cerámicos

- **Módulo de Young**

También conocido como módulo de tracción o módulo de elasticidad. Es una medida de la rigidez de un material elástico y es una propiedad que caracteriza a los materiales. Se define como al relación uniaxial sobre la tensión uniaxial en el rango de la tensión en la que se cumple la Ley de Hooke. Puede ser determinado experimentalmente a partir de la pendiente de una curva de tensión – deformación creada durante ensayos de tracción realizados sobre una muestra de material.

En materiales anisótropos, el módulo de Young puede tener diferentes valores dependiendo de la dirección de la fuerza aplicada con respecto la estructura del material.

En el diagrama tensión deformación se puede observar que hay un primer tramo en el que la relación entre la tensión y la deformación es lineal, donde se cumple: $\sigma = E \cdot \epsilon$ (Ley de Hooke)

Donde E es el módulo de Young y es propiedad intrínseca del material, y ϵ es la deformación producida en el material.

Diagrama tensión – deformación. El módulo de Young está representado por la tangente a la curva en cada punto.

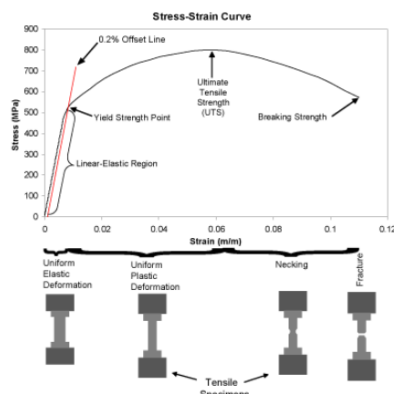


Imagen 2.1 – Diagrama tensión - deformación

Para los materiales frágiles y para los materiales dúctiles la curva es la siguiente:

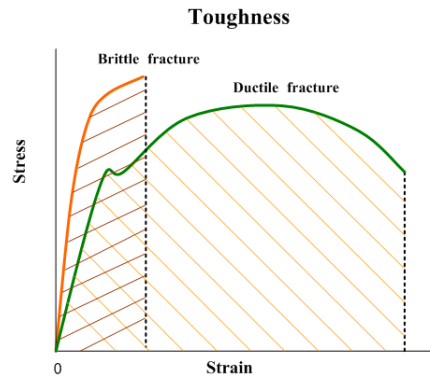


Imagen 2.2 – Curva tensión – deformación para materiales frágiles y dúctiles

De acuerdo con la fuerza, ductilidad y tenacidad, las curvas pueden ser:

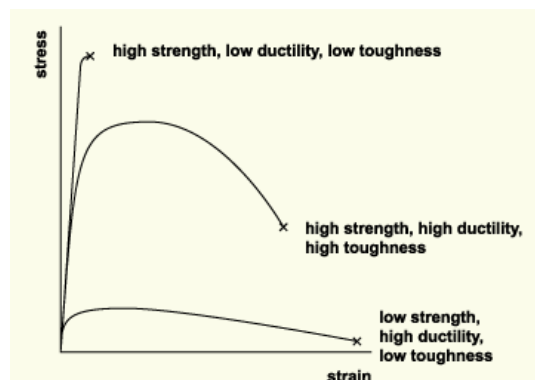


Imagen 2.3 – Comparación entre la curva de resistencia, ductilidad y dureza

- **Dureza**

La dureza es una medida de la materia sólida y es resistente a diversos tipos de cambio de forma permanente cuando se aplica una fuerza.

Los materiales cerámicos son sólidos muy duros debido a sus enlaces covalentes o iónicos. La dureza es una propiedad principal de los materiales cerámicos

La dureza en materiales cerámicos se mide generalmente con la prueba de dureza Vickers. Cuya unidad de dureza se conoce como el número de pirámide Vickers (HV) que se determina por la carga sobre el área de la superficie de la escotadura. Para poder interpretar el valor de la dureza en estos materiales, es necesario analizar otros factores como la porosidad en la superficie, el tamaño de grano de la microestructura y los efectos de las fases del contorno del grano.

- **Resistencia a la Fractura**

Indica la cantidad de tensión necesaria para propagar un defecto de antes de que existiera. Para su determinación se suele usar el factor de intensidad de tensiones, K_I , generalmente en modo I. Depende del tamaño de la grieta, la geometría estructural y la carga.

$$K_I = \beta \sigma \sqrt{\pi \cdot a}$$

K_I representa el nivel de “tensión” en la punta de la grieta y la tenacidad de la fractura, KIC, valor máximo de intensidad de tensiones que un material bajo condiciones muy específicas puede soportar. Para los materiales cerámicos este factor es muy bajo. La fractura se produce debido al alto número de defectos que actúan como concentrador de tensiones.

- **Resistencia a Flexión**

Es la capacidad de un material para resistir la deformación bajo carga. Se mide en parámetro de tensión.

Los materiales cerámicos tienen extremadamente baja ductilidad, por lo tanto, la cerámica no permite la medición de sus propiedades mecánicas por el ensayo de tracción convencional, sino que al ser materiales frágiles se utiliza el ensayo a flexión.

- **Desgaste**

Es la erosión o desplazamiento lateral de material sobre una superficie sólida realizado por la acción de otra superficie.

El comportamiento de desgaste de la cerámica de ingeniería es relativamente complejo y está sujeta a muchas variables.

- **Fluencia**

Es la tendencia de un material sólido a moverse o deformarse bajo la influencia de las tensiones, lentamente. Se produce como resultado a largo plazo de soportar altos niveles de tensión por debajo del límite de elasticidad del material.

- **Choque térmico**

Se denomina al agrietamiento debido al rápido cambio de temperatura. Los materiales cerámicos son especialmente vulnerables a este tipo de fracaso, como consecuencia de su baja dureza, baja conductividad térmica y alto coeficiente de expansión térmica. Sin embargo, se utilizan en muchas aplicaciones de alta temperatura debido a su alto punto de fusión.

- **Propiedades Eléctricas**

Las propiedades eléctricas características de los materiales cerámicos son: propiedad aislante, conductividad eléctrica, rigidez dieléctrica, constante dieléctrica, propiedad semiconductora y superconductora, propiedad piezoeléctrica y propiedad magnética.

2.2 - ACEROS

El acero es una aleación que se combina con otros elementos, el más común de los ellos es el carbono, el cual actúa como agente de endurecimiento y previene dislocaciones en la red cristalina del átomo de hierro.

La densidad del acero varía en función de los constituyentes de la aleación, en general, los rangos son entre 7.750 y 8.050 kg/m³ o 7,75 y 8,05 g/cm³.

Hay muchos tipos de procesos de tratamiento de calor disponibles al acero. Los más comunes son de recocido y temple y revenido.

2.2.1 – Propiedades Mecánicas de los Aceros

- **Módulo de Young**

Como hemos explicado anteriormente, el módulo de Young está representado por la tangente a la curva en cada punto. La forma de la curva de tensión – deformación del acero es similar a la de los materiales cerámicos.

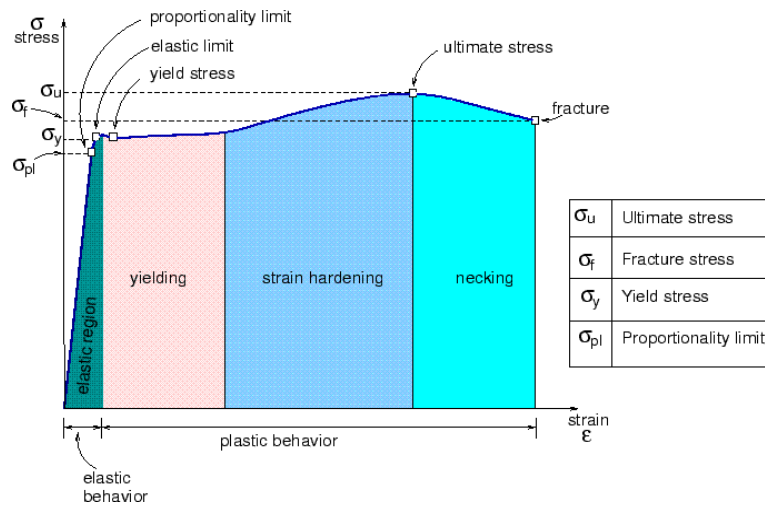


Imagen 2.4 – Diagrama tensión - deformación

- **Dureza**

La dureza del acero varía entre el hierro y el que se puede obtener con su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos, entre las cuales la más conocida es quizás el acero templado.

- **Resistencia a la Fractura**

Hay variables que tienen una profunda influencia en la dureza de un material. Estas variables son: velocidad de deformación, temperatura y efecto de entalladura.

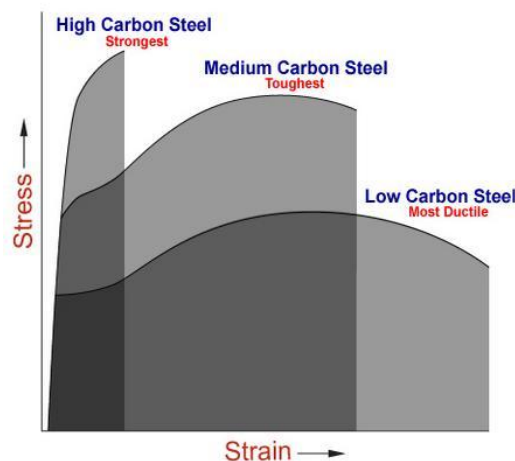


Imagen 2.5 – Resistencia a la fractura

Un metal puede poseer la dureza satisfactoria bajo cargas estáticas, pero muchos pueden romperse bajo cargas dinámicas o por impacto. Como regla de ductilidad podemos considerar que la tenacidad disminuirá cuando la tasa de carga aumente. En cuanto a la temperatura, a menor temperatura la tenacidad y la ductilidad disminuirán. Y por último respecto al efecto de entalladura, un material mostrará una buena tenacidad cuando la tensión aplicada sea uniaxial.

- **Desgaste**

Para el acero, el comportamiento d desgaste más importante es el comportamiento de desgaste abrasivo.

- **Fluencia**

En general, en el caso de aceros de dureza natural, la resistencia a fluencia coincide con el valor aparente de la tensión correspondiente a la etapa de procedencia, explicada en el apartado de los materiales cerámicos. En los casos en que no aparece o aparece mal definida, como es habitual con los aceros estirados en frío, es necesario recurrir a los requisitos convencionales de valores establecidos para aceros mayores a 4200 Kg/cm^2 .

- **Choque Térmico**

Los aceros para herramientas endurecidas requieren no sólo propiedades mecánicas tales como alta resistencia, alta ductilidad, alta resiliencia, de alta resistencia al desgaste, etc, sino que también requieren la propiedad de resistencia contra la grieta debido al choque térmico, como al fricción.

Los aceros de bajo contenido de carbono, respecto al choque térmico, son más resistentes a la grieta que los aceros altos en carbono, a condición de uso de la dureza, es la misma. Por otro lado los aceros bajos en carbono pueden tener mayor dureza que el acero de alto carbono, siempre que su resistencia térmica se ponga al mismo nivel.

- **Propiedades Eléctricas**

El acero como todos los metales puede conducir la electricidad. Las tres principales propiedades eléctricas del acero incluyen su conductividad eléctrica, la resistividad eléctrica y su coeficiente de temperatura.

2.3 – HORMIGÓN

El hormigón es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos a compresión, pero no tiene un buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos, por este motivo es habitual usarlo asociado a ciertas armaduras de acero, recibiendo el nombre de hormigón armado.

2.3.1 – Propiedades Mecánicas del hormigón

- **Módulo de Young**

La curva de tensión – deformación del hormigón es similar a la del acero.

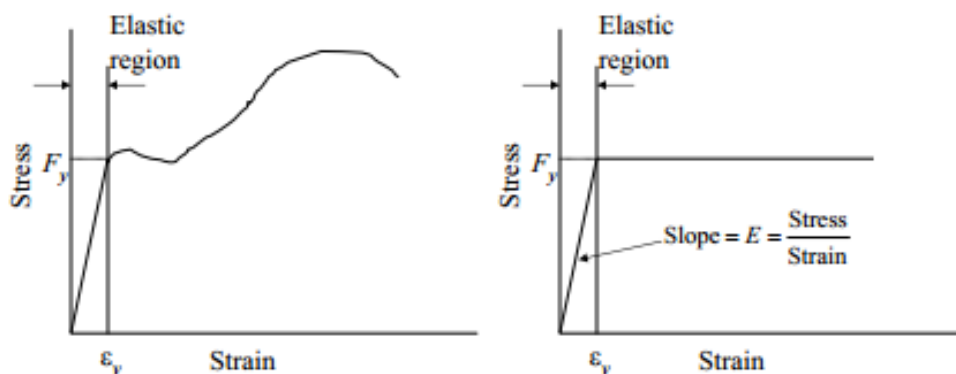


Imagen 2.6 – Módulo de Young determinado por el ensayo de tracción e ideal

- **Dureza**

La dureza del hormigón está relacionada con su resistencia. La evolución de la resistencia del hormigón también depende de la temperatura, ya que ésta actúa como un catalizador para la reacción de hidratación del cemento.

- **Resistencia a la Fractura**

El hormigón tiene una fractura frágil, lo que implica que tiene muy poca ductilidad. Sin embargo, el hormigón si es reforzado con acero, tiene mayor ductilidad y la fractura es menor frágil.

- **Resistencia a la Flexión**

La industria del hormigón y los organismos de control están mucho más familiarizados con las pruebas tradicionales de compresión de cilindros para el control y la aceptación del hormigón. La flexión se puede utilizar para un diseño propuesto, pero la resistencia a la compresión correspondiente se debe utilizar para pedir y aceptar el hormigón. Cada vez que los lotes de prueba se hacen, las dos pruebas de flexión y compresión deben hacerse de forma que la correlación pueda ser desarrollada para el control de campo.

- **Desgaste**

En la superficie del hormigón existe, debido a su uso, un desgaste mecánico, el impacto y la abrasión.

- **Fluencia**

La fluencia en el hormigón es moderada y alivia las tensiones de tracción que de otro modo podrían conducir a la rotura. Los factores que afectan a la fluencia son: el agregado, las proporciones de la mezcla y la edad del hormigón.

- **Choque Térmico**

El principal daño al hormigón causado por las altas temperaturas es la pérdida de las propiedades mecánicas.

El hormigón siempre se congela a temperaturas por debajo de 0°C.

- **Propiedades Eléctricas**

La resistividad eléctrica es importante donde el hormigón se expone a condiciones corrosivas, donde las corrientes de corrosión fluirán con mayor facilidad que a baja resistividad.

3 - ESTRUCTURAS

3.1 – VIGA EN VOLADIZO

Una viga en voladizo es una viga anclada en un solo extremo. La viga soporta la carga para el apoyo en el que se fuerza contra por el momento y la tensión de cizallamiento. La construcción en voladizo permite estructuras sin refuerzos externos. Los voladizos también pueden ser contruidos con armazones o losas.

Hemos usado el programa de ANSYS para realizar el análisis de la viga en voladizo.

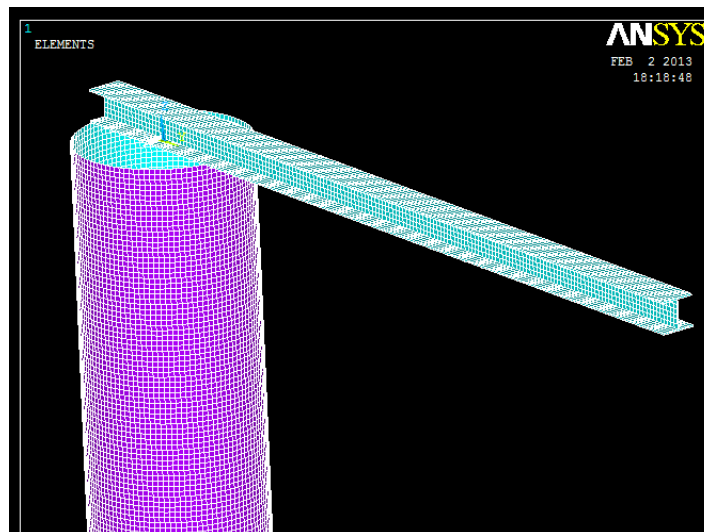
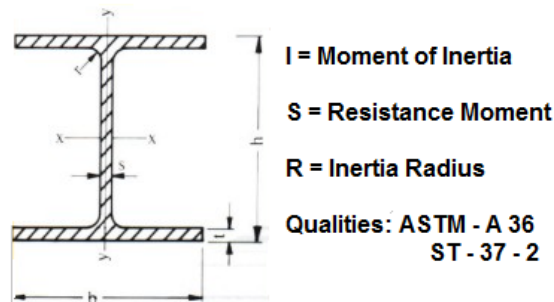


Imagen 3.1 – Modelo de la estructura a estudiar

3.1.1 – Diseño de la viga



HEA (I) IPBL	Dimensiones (mm)					Área cm ²	Peso Kg/m	Momento respecto a los ejes					
								EJE-X-X			EJE-Y-Y		
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>r</i> ₁			<i>I</i> _x cm ⁴	<i>S</i> _x cm ³	<i>R</i> _x cm	<i>I</i> _y cm ⁴	<i>S</i> _y cm ³	<i>R</i> _y cm
100	96	100	5.0	8.0	12	21.2	16.7	349	72.7	4.05	134	26.7	2.51
120	114	120	5.0	8.0	12	25.3	19.9	606	106.0	4.89	231	38.4	3.02
140	133	140	5.5	8.5	12	31.4	27.7	1030	155.0	5.73	389	55.6	3.52
160	152	160	6.0	9.0	15	38.8	30.4	1670	220.0	6.57	615	76.9	3.98
180	171	180	6.0	9.5	15	45.3	35.5	2510	294.0	7.45	924	103.0	4.52
200	190	200	6.5	10.0	18	53.8	42.3	3690	389.0	8.28	1330	133.0	4.98
220	210	220	7.0	11.0	18	64.3	50.5	5410	515.0	9.17	1950	178.0	5.51

Imagen 3.2 – Dimensiones de nuestra viga

3.1.2 – Carga puntual en el extremo de la viga

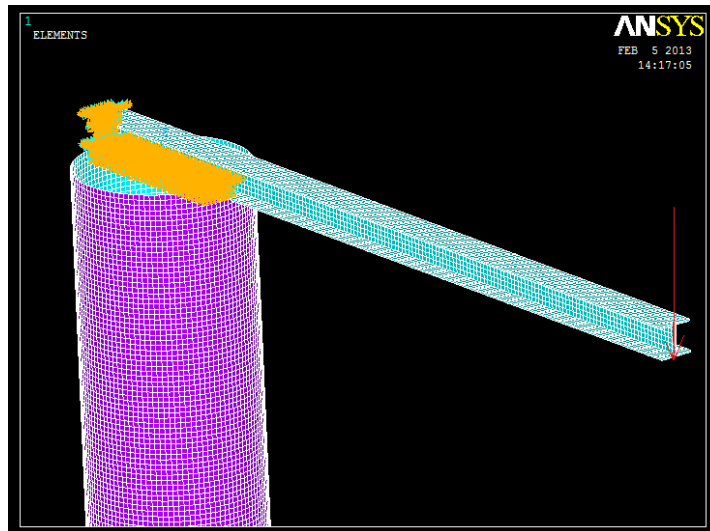
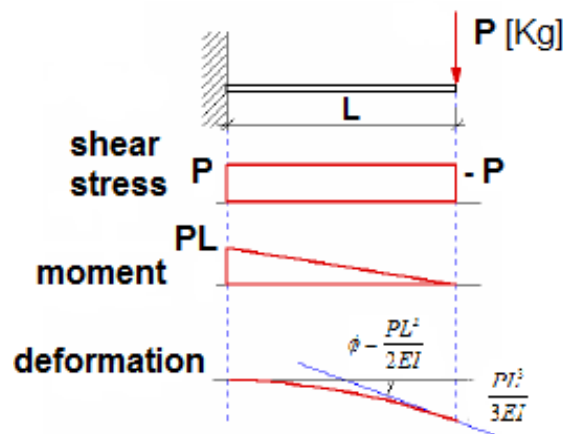


Imagen 3.3 – Modelo con una carga situada en el extremo de la viga

En el proyecto realizamos el cálculo de la deformación de la viga a través de diferentes métodos: Método del momento del área, Integración doble y método conjugado de la viga. En todos los casos se llegó a la misma conclusión que fue:



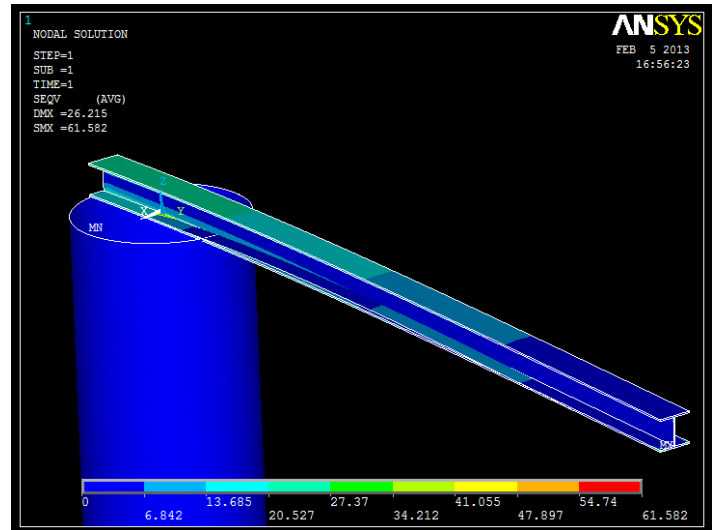
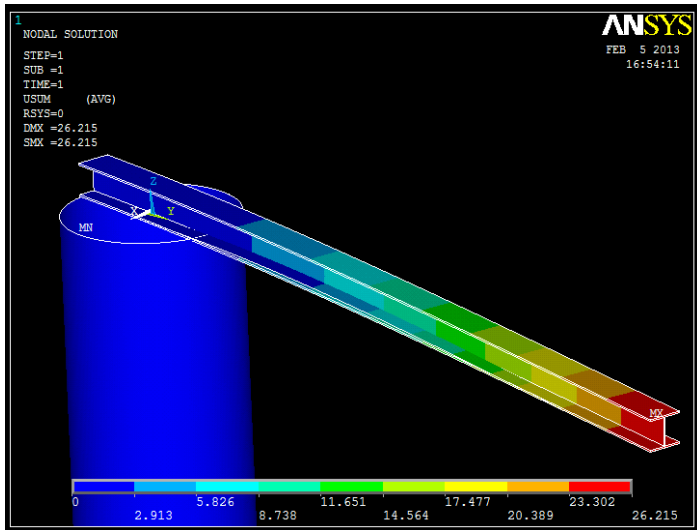
$$\phi_B = \phi_{L0} = -\frac{PL^2}{2EI}$$

$$Y_{max} = t_{(L-0)} = -\frac{PL^3}{3EI}$$

El resultado obtenido con ANSYS para cada material fue:

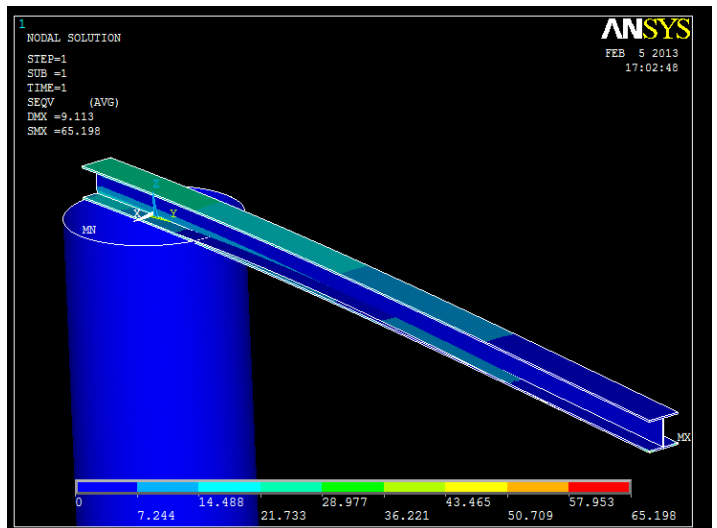
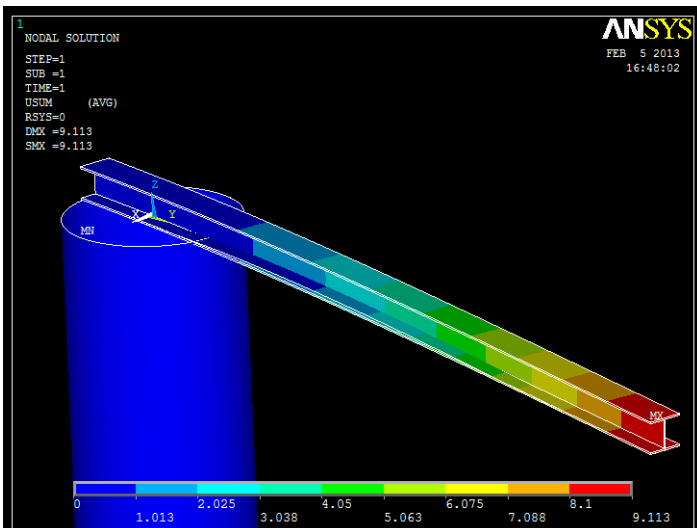
3.1.2.1 – Cerámico

Usamos un material cerámico con un módulo elástico $E=73\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.



3.1.2.2 – Acero

Usamos un acero con un módulo elástico $E=210\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.3$.



3.1.2.2 – Hormigón

Usamos un hormigón con un módulo elástico $E=27\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

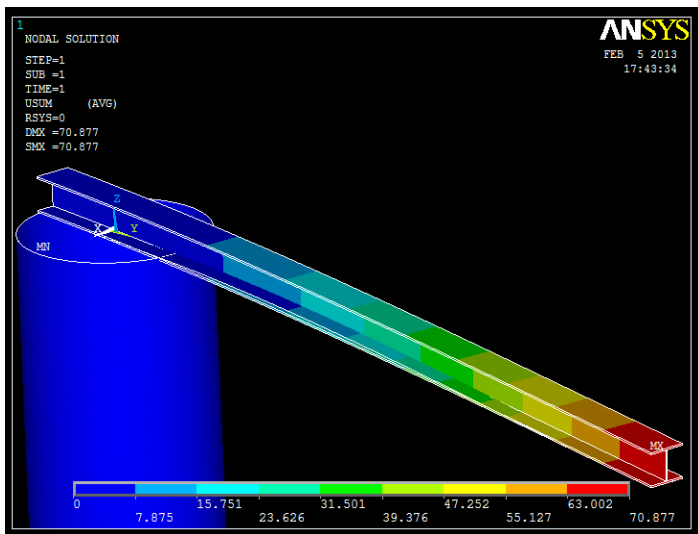


Imagen 3.8 – Máximo desplazamiento de la viga de hormigón bajo las condiciones indicadas.

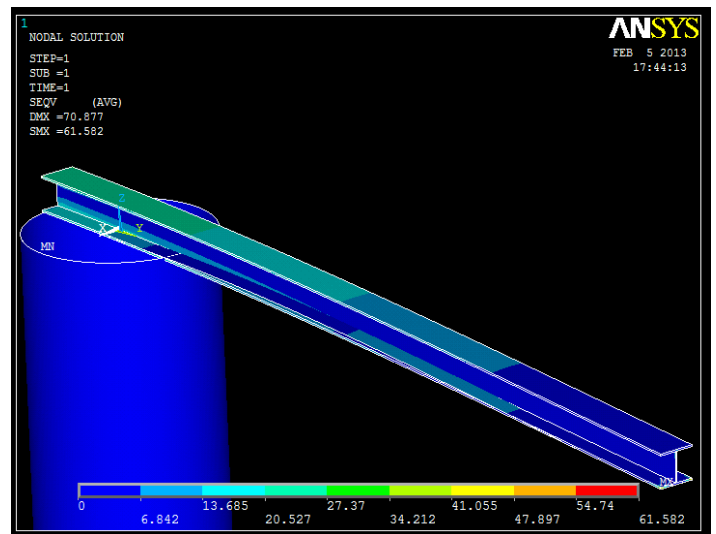


Imagen 3.9 – Máxima tensión de la viga de hormigón bajo las condiciones indicadas.

3.1.3 – Carga distribuida sobre la viga en voladizo

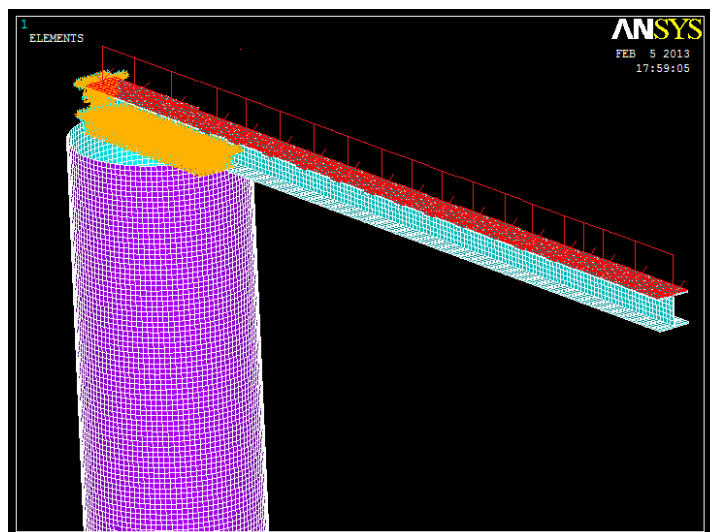
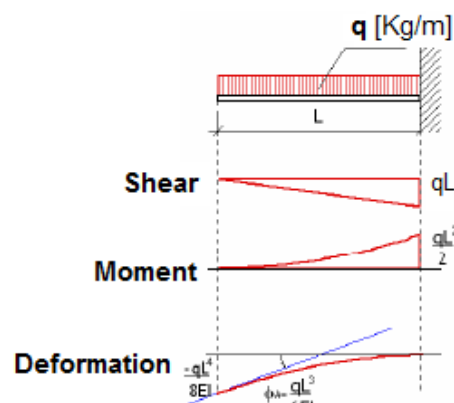


Imagen 3.10 – Modelo con una carga distribuida sobre la viga en voladizo



Realizamos los mismos pasos que en el anterior punto. Y el resultado obtenido ha sido:

$$\phi_A = \phi_{0L} = -\frac{PL^3}{6EI}$$

$$Y_{max} = t_{(0-L)} = -\frac{qL^4}{8EI}$$

3.1.3.1 – Cerámico

Usamos un material cerámico con un módulo elástico $E=73\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

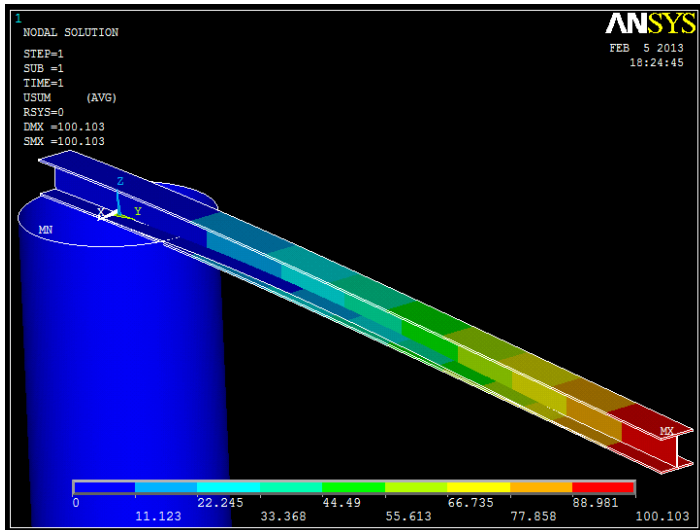


Imagen 3.11 – Máximo desplazamiento de la viga cerámica bajo las condiciones Indicadas.

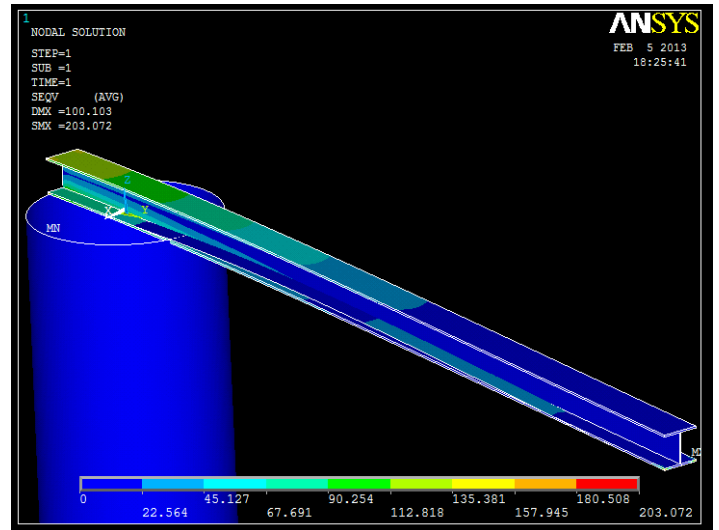


Imagen 3.12 – Máxima tensión de la viga cerámica bajo las condiciones indicadas.

3.1.3.2 – Acero

Usamos un material de acero con un módulo elástico $E=210\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.3$.

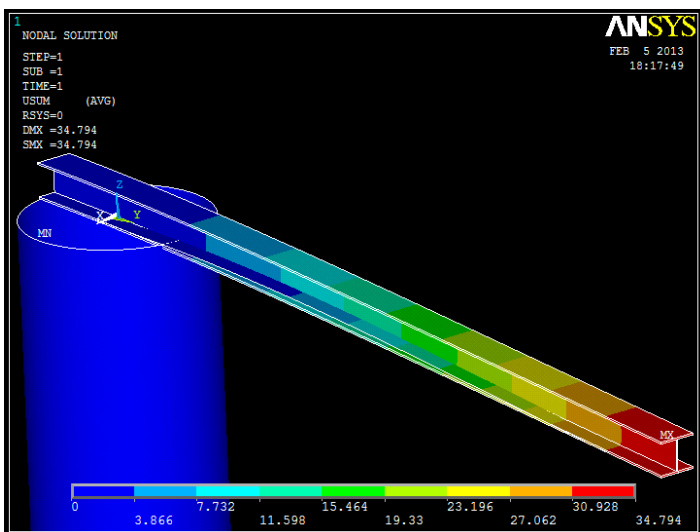


Imagen 3.13 – Máximo desplazamiento de la viga de acero bajo las condiciones Indicadas.

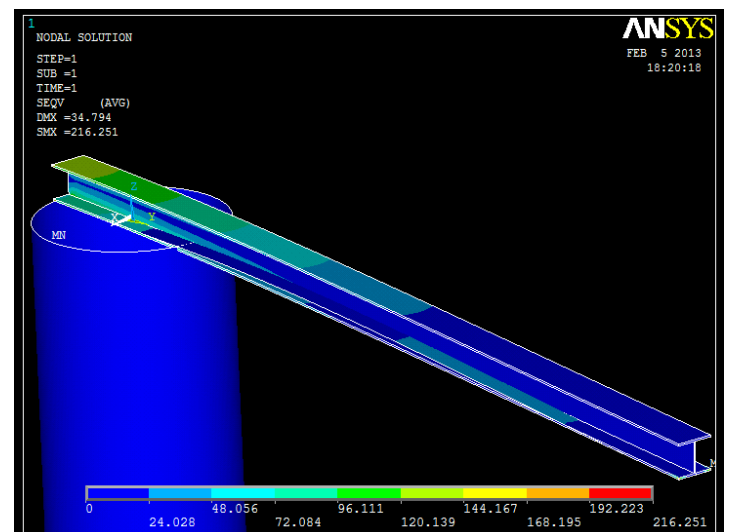


Imagen 3.14 – Máxima tensión de la viga de acero bajo las condiciones indicadas.

3.1.3.2 – Hormigón

Usamos un material de acero con un módulo elástico $E=27\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

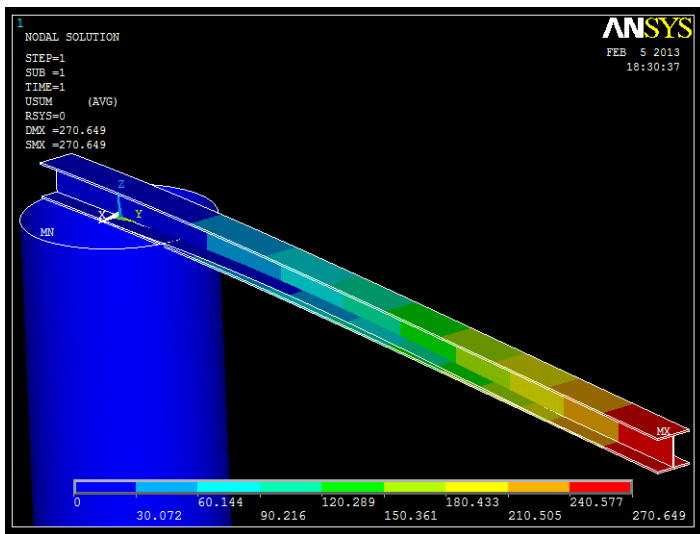


Imagen 3.15 – Máximo desplazamiento de la viga de hormigón bajo las condiciones indicadas.

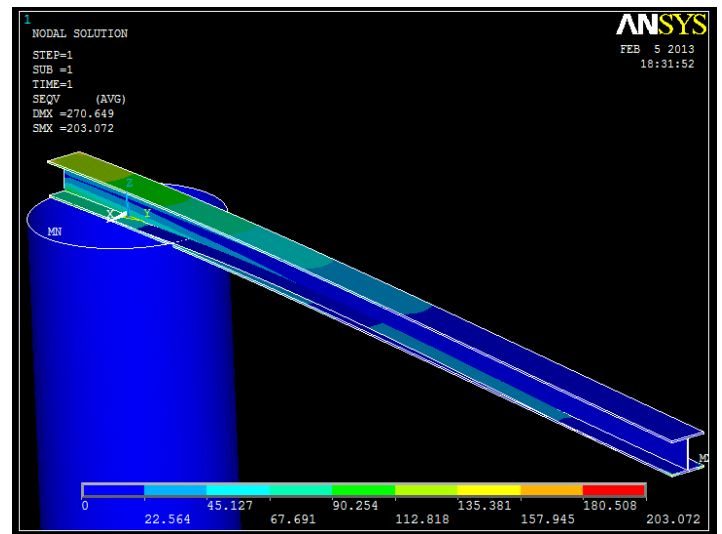


Imagen 3.16 – Máxima tensión de la viga de hormigón bajo las condiciones indicadas.

3.2 – VIGA BIAPOYADA

Nuestro diseño en el programa ANSYS ha sido:

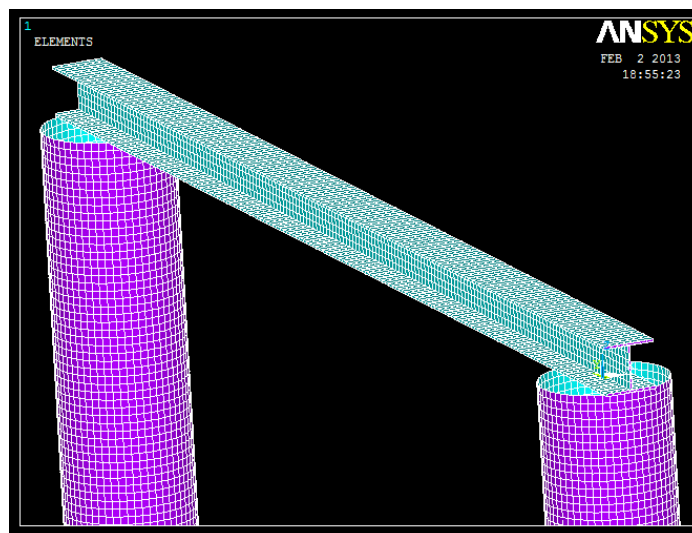


Imagen 3.17 – Modelo de la estructura a estudiar

3.2.1 – Carga puntual en el medio de la viga

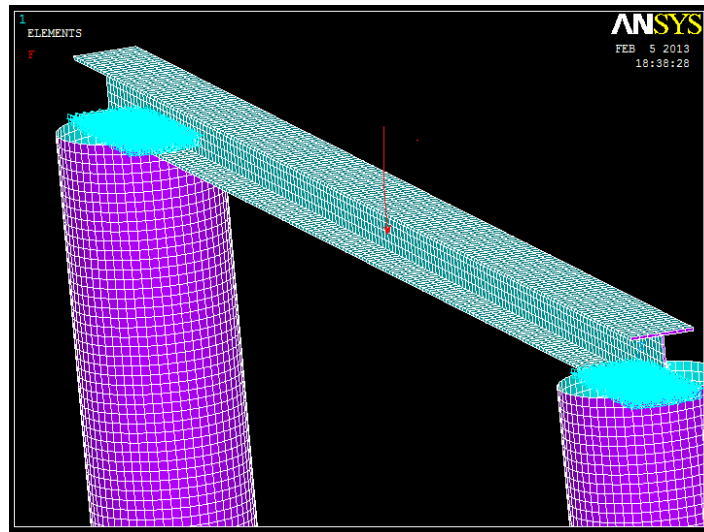
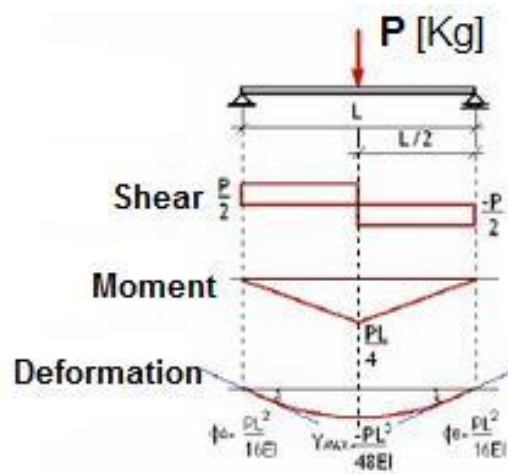


Imagen 3.18 –Modelo con una carga puntual en la mitad de la viga biapoyada



Realizamos los mismos pasos que en el anterior punto. Y el resultado obtenido ha sido:

$$\phi_A = \frac{PL^2}{16EI}$$

$$Y_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

3.2.1.1 – Cerámico

Usamos un material cerámico con un módulo elástico $E=73\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

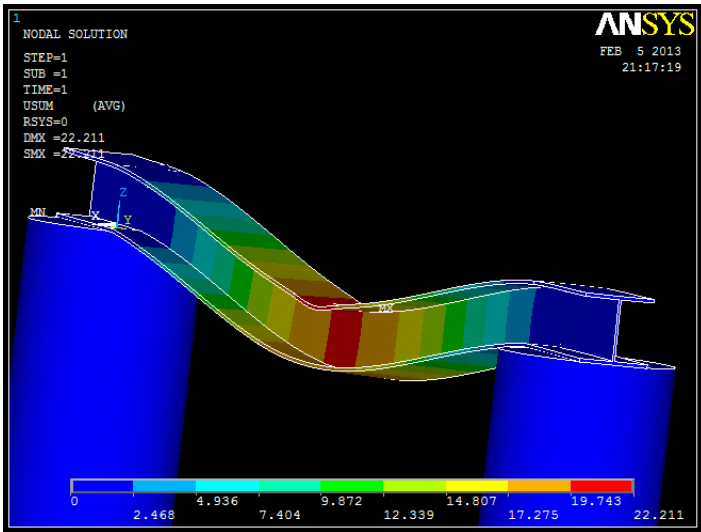


Imagen 3.19 – Máximo desplazamiento de la viga cerámica bajo las condiciones Indicadas.

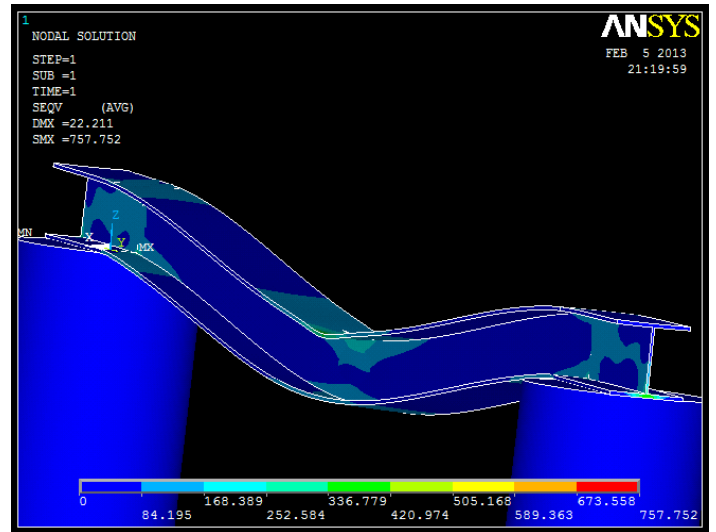


Imagen 3.20 – Máxima tensión de la viga cerámica bajo las condicione sindicadas.

3.2.1.2 – Acero

Usamos un material de acero con un módulo elástico $E=210\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.3$.

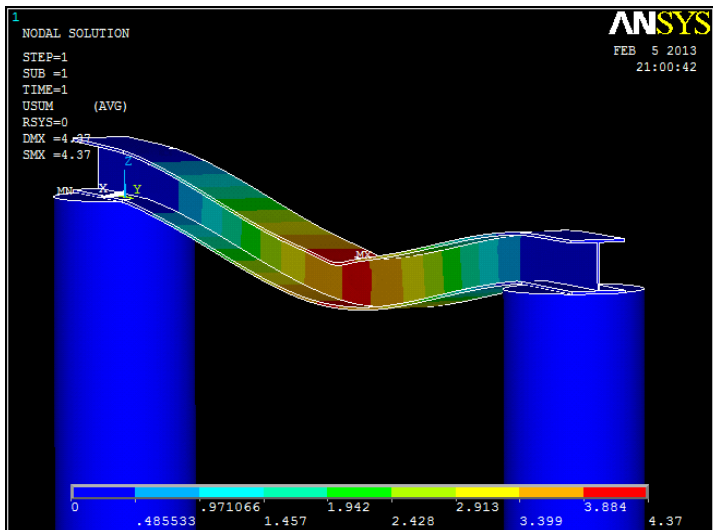


Imagen 3.19 – Máximo desplazamiento de la viga de acero bajo las condiciones Indicadas.

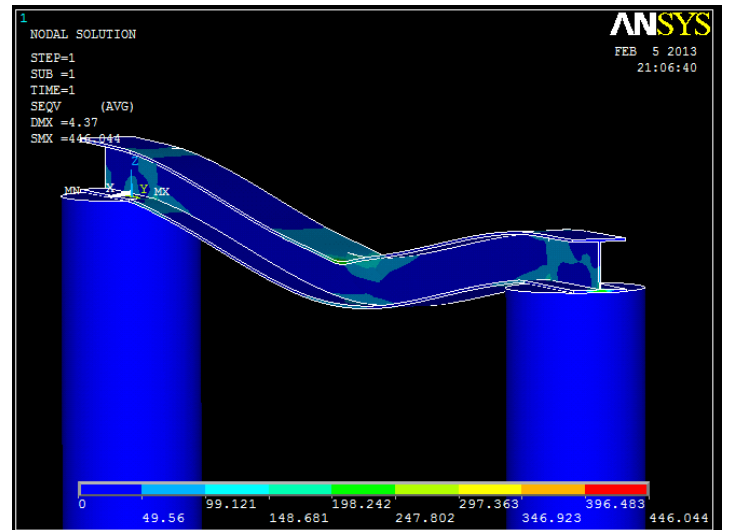


Imagen 3.20 – Máxima tensión de la viga de acero bajo las condiciones indicadas.

3.2.1.3 – Hormigón

Usamos un material de hormigón con un módulo elástico $E=27\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

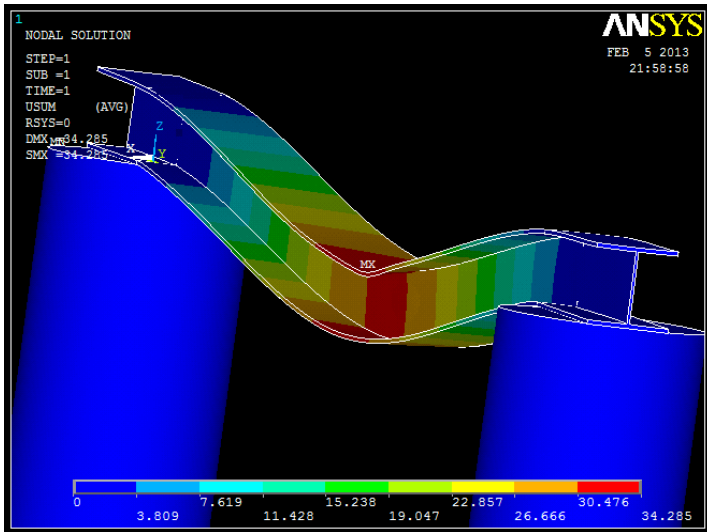


Imagen 3.21 – Máximo desplazamiento de la viga de hormigón bajo las condiciones Indicadas.

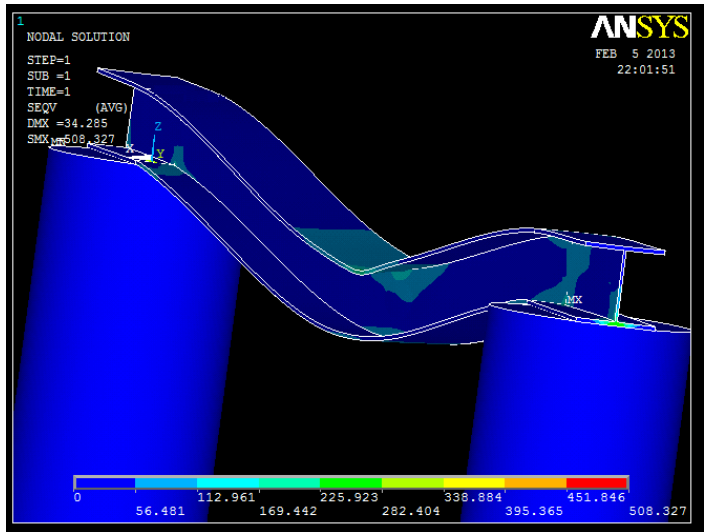


Imagen 3.22 – Máxima tensión de la viga de hormigón bajo las condiciones indicadas.

3.2.2 – Carga distribuida sobre la viga

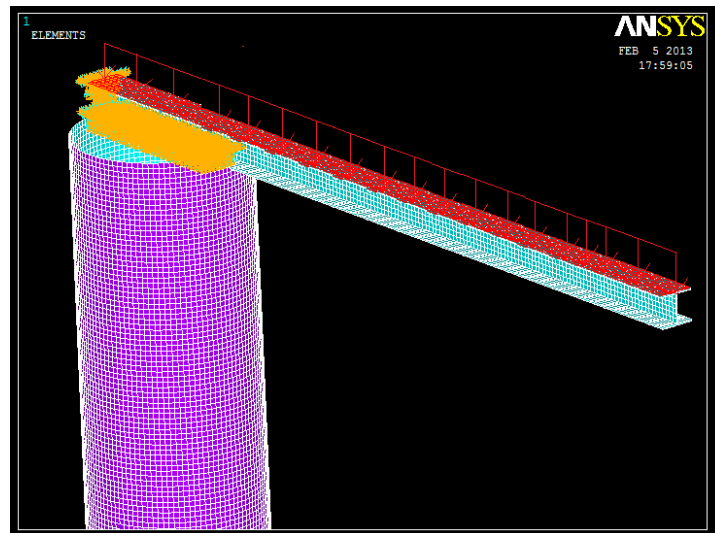
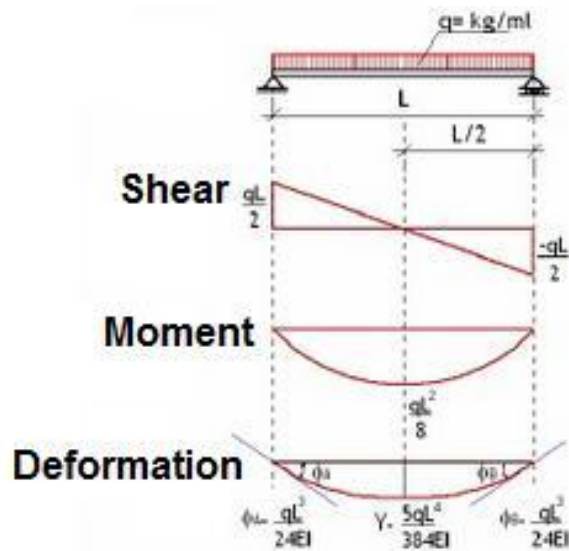


Imagen 3.23 – Modelo de una carga distribuida sobre una carga biapoyada



$$\phi_A = \frac{qL^3}{24EI}$$

$$Y_{max} = \frac{5qL^4}{384EI}$$

3.2.2.1 – Cerámico

Usamos un material cerámico con un módulo elástico $E=73\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

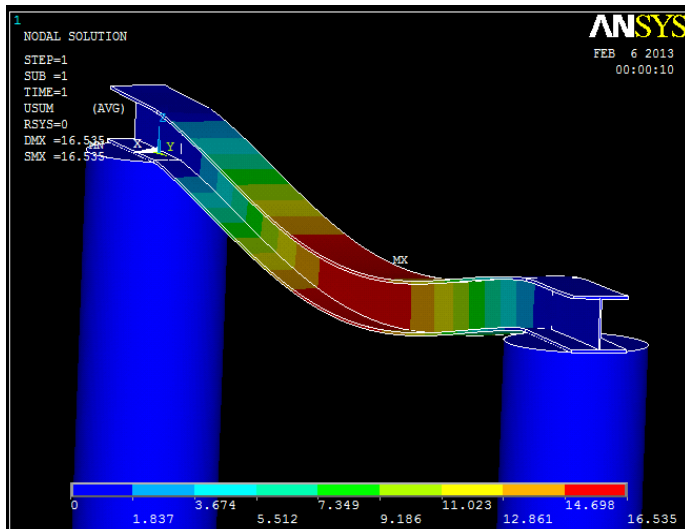


Imagen 3.24 – Máximo desplazamiento de la viga cerámica bajo las condiciones indicadas.

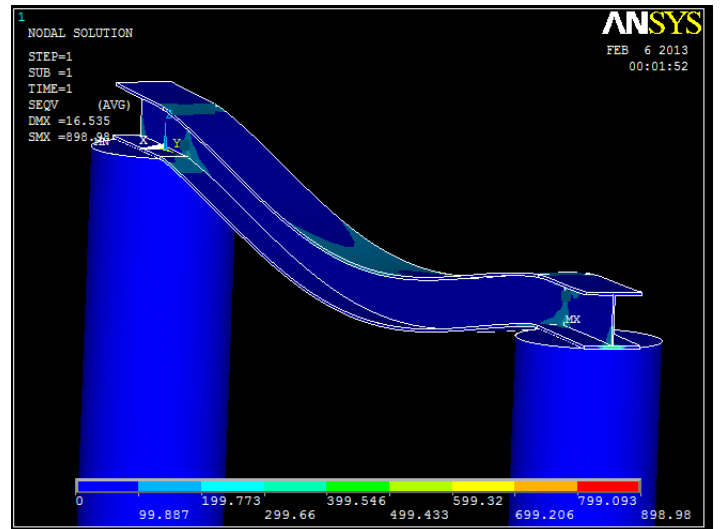


Imagen 3.25 – Máxima tensión de la viga cerámica bajo las condiciones indicadas.

3.2.2.2 – Acero

Usamos un material de acero con un módulo elástico $E=210\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.3$.

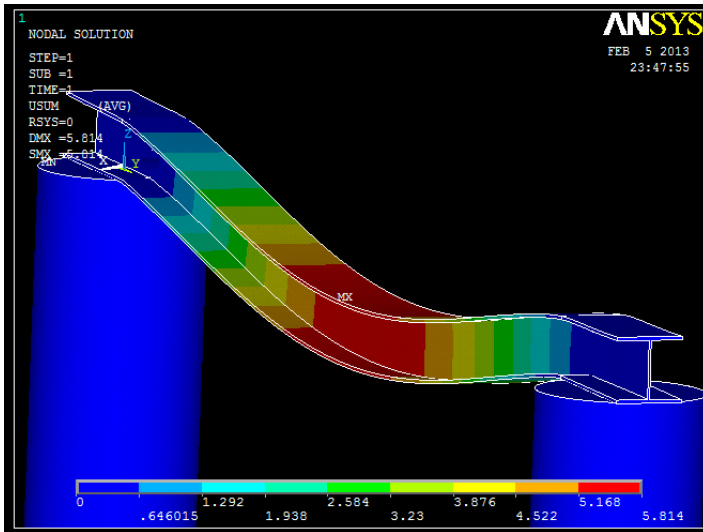


Imagen 3.26 – Máximo desplazamiento de la viga de acero bajo las condiciones Indicadas.

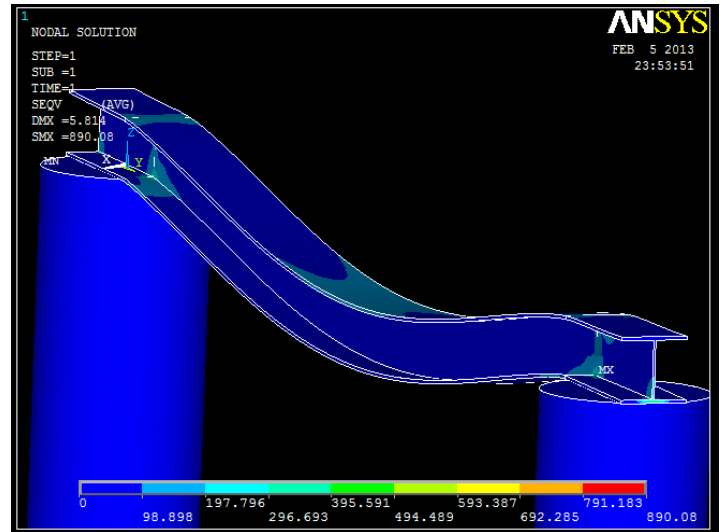


Imagen 3.27 – Máxima tensión de la viga de acero bajo las condiciones indicadas.

3.2.2.2 – Hormigón

Usamos un material de hormigón con un módulo elástico $E=27\text{GPa}$ y un coeficiente de poisson $\nu = 0.2$.

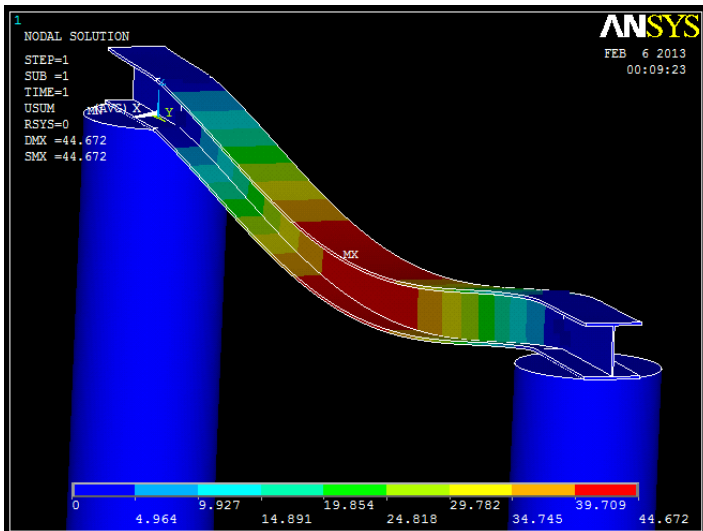


Imagen 3.28 – Máximo desplazamiento de la viga de hormigón bajo las condiciones Indicadas.

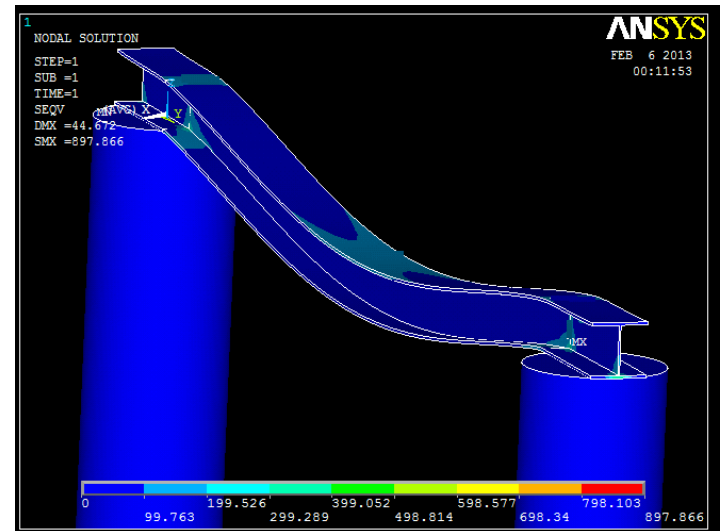


Imagen 3.29 – Máxima tensión de la viga de hormigón bajo las condiciones Indicadas.

4 - CONCLUSIONES

Hemos realizado el estudio de diferentes estructuras construidas por materiales: cerámico, acero y hormigón. Las estructuras estudiadas han sido, viga en voladizo y viga biapoyada sometidas a distintas condiciones de contorno.

La primera estructura a estudiar fue viga en voladizo con una carga puntual de 1MPa en el extremo de la viga. El resultado obtenido fue que para el material cerámico y el acero era posible dicho diseño para el hormigón no, debido a que no es factible un desplazamiento de 70mm, por lo que rompería. Para seleccionar el material más adecuado nos fijamos en el máximo valor desplazado y la tensión máxima, en conjunto el más adecuado es el acero ya que tiene el menor desplazamiento máximo y la diferencia con el material cerámico en la tensión máxima no es muy grande.

La segunda estructura a estudiar fue una viga en voladizo con una carga distribuida de 1,5MPa. Realizamos los mismos pasos que en el caso anterior, obteniendo los mismos resultados que en dicho caso. Por el mismo razonamiento seleccionamos el material acero como el mejor material para esta estructura.

Ahora estudiaremos la viga biapoyada con una carga puntual de 1MPa en el centro de la viga. Realizando los mismos pasos que en los casos anteriores obtenemos que es posible realizar dicha estructura con material cerámico y de acero, pero no con hormigón ya que romperá. El mejor material será de nuevo el acero ya que es el que tiene menor desplazamiento máximo y menor tensión máxima.

El último estudio realizado el una carga distribuida de 1MPa sobre una biga biapoyada. El resultado obtenido es el mismo que en los casos anteriores. Y seleccionamos el acero como el mejor material debido a que su desplazamiento máximo es el menor comparado con los otros dos materiales aunque con el acero tenga mayor tensión máxima que con el material cerámico.

En resumen de todos los casos, podemos decir que el mejor material para estas estructuras es el material de acero que siempre tiene el mínimo de desplazamiento máximo. En alguna situación tiene más tensión máxima que el material cerámico. El material cerámico es bueno, pero es más caro que el material de acero y es menos habitual en este aspecto de la construcción. El peor material, como podemos observar, es material de hormigón porque siempre tiene el mayor desplazamiento máximo y la mayor tensión máxima.

5 - BIBLIOGRAFÍA

5.1 – BOOKS AND DOCUMENTS

- Notes of Design with Composite Materials, Carlos III University of Madrid, Navarro Ugena, Carlos; Barbero Pozuelo, Enrique.
- Notes of Elasticity and Strength of Composite Materials, Carlos III University of Madrid, Navarro Ugena, Carlos.
- How Should Strength be measured for Concrete Paving? Richard C. Meininger, NRMCA TIL. 420 and Data Summary NRMCA TIL 451, NRMCA, Silver Spring, MD.
- Concrete Strength Testing, Peggy Carrasquillo, Chapter 14, ASTM STP 169C, Significance of Test and Properties of Concrete and Concrete – Making Materials. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- SHACKELFORD, J.F.: “Introducción a la ciencia de Materiales para ingenieros”, Prentice Hall.
- GREEN, D.J.. An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramics. (Cambridge Solid State Science Series). 1998.
- CHIANG, Y.M.; BIRNIE III, D.P. and KINGERY, W.D.. Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering. John Wiley & Sons. 1997.

5.2 – REFERENCES AND WEBS

- www.litz-wire.com
- www.astm.org
- www.cvr.etsia.upm.es
- www.wikipedia.org
- www.steelconstruction.info/
- www.ce.memphis.edu
- www.awc.org
- www.mhhe.com